

JR東日本の高速車両開発

JR East High-speed Rolling Stock Development

東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター 先端鉄道システム開発センター所長
浅野 浩二

1. はじめに

JR東日本としての新幹線車両の歴史は、国鉄時代の1982年東北・上越新幹線開業時にデビューした200系新幹線から始まります。当初は12両編成のオール電動車で営業最高速度は210km/hでした。

その後当社管内の5方面に延伸した新幹線ネットワークは様々な運行形態を有するようになり(図1)、200系後もこの運行形態に合わせ、かつ営業速度を向上した新幹線車両が開発されてきました。標準タイプの新幹線専用車両の他に、秋田や新庄に向かう新在直通用車両、近距離の大量輸送のための2階建て車両などお客さまのニーズに合わせた車両が登場しました。さらにワンランク上のサービスを提供するグランクラス、乗って楽しい列車である「とれいゆ」や「GENBI新幹線」など、様々なサービスを提供してきました(図2)。

長距離輸送を担う新幹線は、新幹線ネットワークの延伸と共に航空機などとの競争を強いられます。お客さまに新幹線を選んでいただくためには、如何に魅力的で快適な新幹線とするかを考えなければなりません。例えば、速度向上などによる目的地までの到達時間の短縮や、より良い乗り心地や快適な室内環境といった快適性の向上、



お客さまそれぞれの要求に合った機能的サービスの提供など、「乗りたくなる新幹線」を作り上げることが必要となります。

また世界の高速鉄道の動向を見てみると、多くの国で300km/h超の営業運転が実現していますし、イタリアではさらに速度を向上して360km/h営業運転を目指すことがアナウンスされています。今後、当社的高速鉄道技術の海外展開においても競争力維持のために高速走行技術の蓄積が必要となってきます。

このような状況の中で当社ではお客さまに喜んでいただける、快適で安全、そして信頼性の高い新幹線車両をご提供するべく、常に新しい技術を活用した新幹線車両システムの開発を進めています。



図1 JR東日本の新幹線ネットワーク

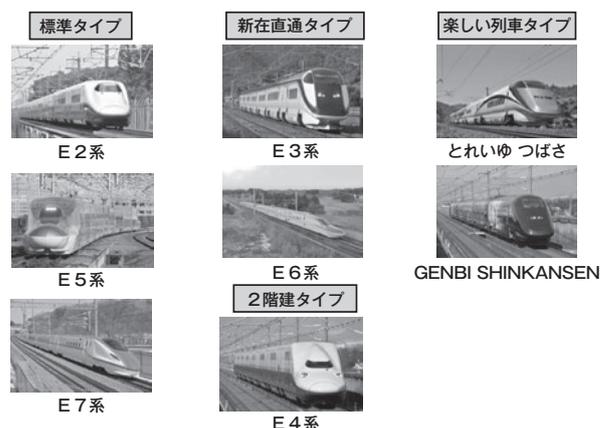


図2 JR東日本の新幹線車両

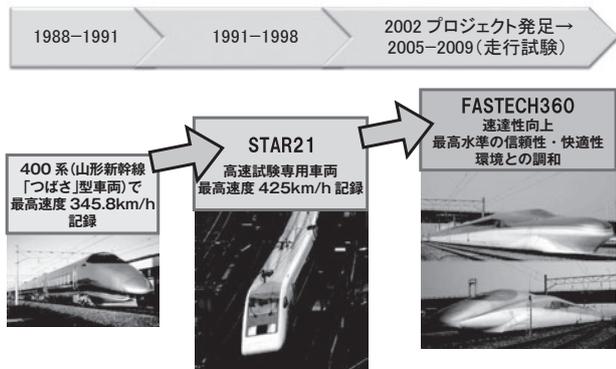
本稿では、これまでの高速車両の開発の概要とこれからの新幹線車両に向けた技術開発に関してご紹介します。

2. JR東日本の高速車両開発

2.1 新幹線高速化開発の経緯

技術開発部門にとって新幹線の高速化は普遍的な課題であり、この課題をクリアして営業速度を向上させるとともに鉄道技術を進歩させてきました。

ただ速く走るだけでなく、安全かつ快適に高速化を達成するために、種々の試験車両により高速走行試験を実施しました(図3)。1991年には400系新幹線で試験最高速度345.8km/hを記録し、1993年にSTAR21試験電車で425km/hを達成しています。2002年に発足した新幹線高速化(FASTECH)プロジェクトにおいては、試験最高速度を狙うのではなく、営業車両の速達性向上と最高水準の信頼性・快適性、そして環境との調和を達成することを目的として、高速試験車両FASTECH360により開発・試験評価を実施しました。



※FASTECH: FASt TECHNOlogy(高速技術)を短縮した造語、360は技術開発上の目標速度

図3 JR東日本の新幹線高速化開発(試験走行)

2.2 FASTECHプロジェクト

FASTECHプロジェクトにおける試験車両の開発コンセプトを図4に示します。



図4 FASTECH360開発のコンセプト

FASTECH360は「360km/h運転車両のプロトタイプ」「高速走行時の現象解明の実験プラットフォーム」「近未来快適移動空間の提案ステージ」をコンセプトとした試験車両です。次世代の実用車両に向けての技術検証を目的としたプロトタイプ車両であり、新幹線専用車のFASTECH360S(以下「360S」と)と新在直通車のFASTECH360Z(以下「360Z」と)の2編成が製作されました(図5)。



図5 新幹線高速試験電車(FASTECH360)
(左: FASTECH360Z 右: FASTECH360S)

試験車両の名前のとおり営業最高速度360km/hを目標として、「走行速度の向上」「安全性・信頼性の確保」「環境への適用」「快適性の向上」を技術的な4大テーマとして技術開発を進めました。

試験車両の製作と共に地上設備の改良も行い、目標営業速度環境下での車両・地上設備の総合的な評価・検証を目的とした走行試験を2005年から2009年にかけて実施しました。

2.3 主な技術開発の概要

2.3.1 走行速度の向上 (図6)

高速走行時に集電系から発生する騒音低減のために、それまで1編成2台搭載されていたパンタグラフを1編成1台とした集電システムの開発を行いました。パンタグラフについては、すり板を細かく分割し、それぞれをばねで支えて架線へ柔軟に追従する「多分割すり板」を搭載した新型低騒音パンタグラフを開発しました。これらの開発成果とトロッコ線の軽量化、高張力化等と合わせて、高速走行においても極めて安定した集電が可能となりました。

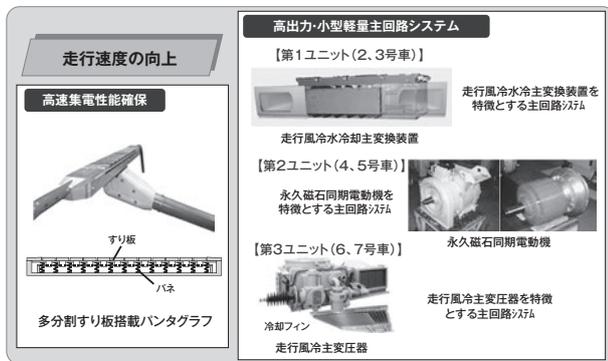


図6 主な技術開発の概要 (走行速度の向上)

安定した高速運転を実現するため、電動機方式や冷却方式に異なる特徴を有する複数種類の高出力・小型軽量主回路システムを開発しました。また車上に情報ネットワークを構築し、制御指令の伝送化や機器コントロールを行う車両情報制御装置を搭載しました。これらを使い、高速域での粘着力を最大限活用して、空転・滑走が発生した場合には編成内の軸位に応じた最適なトルク・ブレーキ配分を行って、編成全体の加速力やブレーキ力を確保するようにしました。

2.3.2 安全性・信頼性の確保 (図7)

走行速度向上に伴う台車や台車部品の負荷増大に対応するため、台車枠・輪軸については過去に製作した試験車両のデータをもとに設計し、基礎ブレーキ装置、車軸軸受、駆動装置等は負荷増大に対応した新方式のものを開発しました。また、高速走行中の台車異常振動、車軸軸受、駆動装置の異常を検知する台車モニタリング装置を新たに開発しました。実負荷耐久試験の他、走行試験では400km/h域までの高速走行安定性の確認、および360Zについては在来線小曲線の通過性能検証を行いました。

地震発生時の安全性確保については、非常ブレーキ指令の迅速化と万一脱線しても車両が軌道から大きく逸脱することを防止する逸脱防止車両ガイドの開発を行いました。また速度向上に伴う地震発生時のリスク上昇を抑制するために、編成内各車の粘着力を最大限活用する編成ブレーキ力制御や滑走時のブレーキ制御方法の改良に加え、これまでにない方式として空気抵抗増加装置を開発しました。

新幹線車両に付着した雪が高速走行中に落下すると、地上設備や車両を破損させる原因となります。そこで車両への着雪量を減らすため、雪の着きにくい台車構造、ヒータによる融雪などの試験を行いました。



図7 主な技術開発の概要 (安全性・信頼性の確保)

2.3.3 環境への適合 (図8)

騒音の抑制は新幹線高速化における重要な課題の一つです。車両対策の主なものは、パンタグラフの空力音対策としてパンタグラフ台枠の低騒音化、一本主枠型低騒音パンタグラフ、パンタグラフ遮音板、全周ホロ、乗務員乗降口の取手部の平滑化、スノープラウカバー、プラグ式ドア、台車カバーの空力音対策、車体下部スカート部・床下部の吸音構造の開発を行いました。また地上のスポット対策として、上部を改良して回折減衰効果を高めた新型防音壁の技術開発を行いました。

新幹線の高速化に伴って増大するトンネル微気圧波対策として2種類のロングノーズ先端形状および異なるノーズ長の比較検証を行いました。また地上対策としてコストダウンを目的にダクト付緩衝工、軽量パネル型緩衝工の開発を行いました。

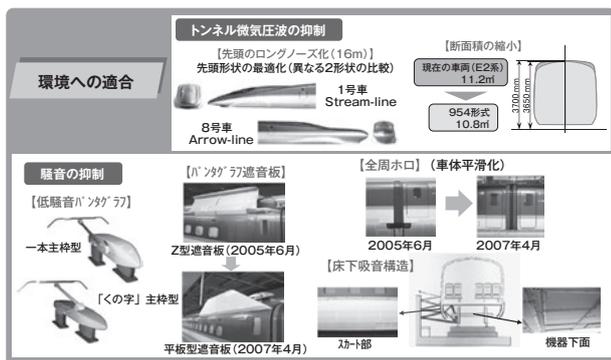


図8 主な技術開発の概要（環境への適合）

2.3.4 快適性の向上 (図9)

高速走行中の左右・上下振動対策のため台車の諸元を基本から見直すとともに、走行試験を通してさまざまなチューニングを実施しました。また動揺防止装置アクチュエータを空気式から電磁直動式・ローラーねじ式に変更し、応答性、制御力を高め更なる左右振動低減を図りました。

さらに曲線通過時の乗り心地向上のために構成がシンプルな空気ばねストローク式の車体傾斜制御機構を導入しました。これにより、超過遠心加速度を抑制しながら曲線通過速度を向上することが可能となりました。併結走行時の空力加振によるトンネル内動揺防止対策として動揺防止装置の制御方法のチューニングを行い、乗り心地の向上を図りました。

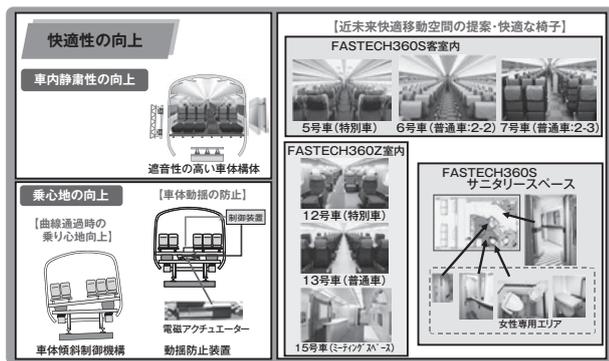


図9 FASTECH360の概要（快適性の向上）

高速走行中も車内の静粛性を維持することは、お客さまの快適性にとって重要です。FASTECH360では360km/h走行中でも車内で普通に会話ができる程度の静粛性を目指し、車体の遮音性向上と空調・床下機器等の低騒音化を行いました。その他、快適な座り心地の椅子やご利用しやすいサニタリースペースの開発も実施しました。

2.4 FASTECH 開発成果の営業車への適用

前述のFASTECH360の試験結果などを基にして環境対策やコスト対効果を検討した結果、E2系・E3系新幹線車両の後継となるE5系・E6系新幹線車両の営業速度は国内最高速となる320km/hとなりました。

FASTECHプロジェクトにおける開発成果でE5系新幹線車両に採用された主な項目は以下のとおりです (図10)。

○環境性能の向上

- ・ロングノーズタイプ (先頭長15m) の先頭形状
- ・台車カバー、全周ホロ、低騒音パンタグラフ

○走行性能の向上と信頼性の確保

- ・主回路装置、分割スリ板パンタグラフ、ブレーキ装置

○快適性の向上

- ・電動式フルアクティブサスペンション (編成全車両)
- ・空気ばねストローク式車体傾斜制御システム

当初の目標であった営業速度360km/hの実現にはあと一歩及びみませんでした。今までの営業速度より45km/hも高い走行速度で安全性・信頼性・快適性を満足する車両を実現できたことは大きな成果であったと考えています。

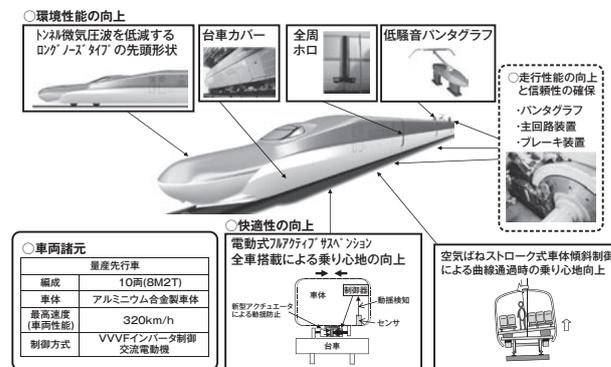


図10 E5系新幹線で採用した開発成果

3. 次世代の新幹線に向けた技術開発

3.1 実現すべき新幹線像

「1.はじめに」でも述べましたが、お客さまに選んでいただける魅力的で快適な新幹線を作り上げることが我々のミッションです。E5系・E6系の後継となる次世代の新幹線像を考えた時、キーワードとなるのは「安全性・安定性」「快適性」「効率性」「環境性能」そして「インテリジェント化」です(図11)。

「安全性・安定性」は、お客さまに安心してご利用いただく鉄道事業者としての使命であり、車両・地上設備状態をリアルタイムで把握し情報共有化すると共に外部要因に左右されにくいレジリエントな鉄道システムを目指します。「快適性」は、速度向上などによる目的地までの到達時間の短縮による利便性向上の他に、お客さまの要求に合った機能的サービスの提供、上質な車内空間の提供を目指します。「効率性」は、モニタリングやCBMによるメンテナンス低減や設備と車両のベストマッチングによるコスト低減、設備のスリム化を目指します。「環境性能」は、騒音・微気圧波といった沿線環境維持・改善の他に省エネ性能の向上を目指していきます。これらを実現するためにIoT×AIを活用した車両の「インテリジェント化」が必要と考えています。



図11 次世代新幹線の主な特徴

3.2 高速化の課題と要素開発

お客さまサービスに関して到達時間短縮は重要な要素であり、これまで目指してきた高速化は今後も追及していくべき課題です。FASTECHプロジェクトの研究開発を通じて、360km/hの速度域を目指すための課題は項目としてはかなり絞り込まれてきましたが、残された課題のハー

ドルはそれぞれ非常に高いことははっきりしています。これらは一朝一夕に解決できる課題ではありませんが、次なる飛躍を目指してこれまでの経験をもとに、研究開発に引き続き取り組んでいきます。以下に代表例をご紹介します。

- 新幹線高速化の重要な課題の一つに、高速走行中の沿線騒音を低減することが挙げられます。新幹線の主な騒音発生部位は、パンタグラフと台車周辺です。このうちパンタグラフの騒音低減に関しては、シミュレーションを活用して騒音発生要因を検討し、対策形状の風洞試験等での評価、遮音、吸音手法等の検討も併せて、総合的な低減対策の開発を進めています。台車各部位から発生する空力騒音については、音源の特定と対策の検討を進めています。特に車輪周辺の音源候補の一つであるブレーキディスクの回転に伴い発生する空力騒音について、騒音を低減するディスクフィン形状を開発中です(図12)。

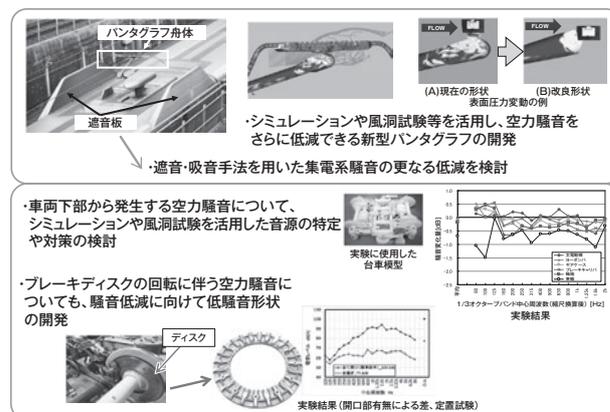


図12 沿線騒音低減対策

- 高速走行からの減速・停止を如何に早く行うかは、地震発生時の安全性確保の面からも重要な課題です。現状は車輪とレール間の粘着力に頼った機械ブレーキ(ディスク&キャリパ&ライニング)のみの装備ですが、地震時において高速域で不足する粘着ブレーキを補い、ブレーキ停止距離を短縮する非粘着式の減速度増加システムを開発しています。ひとつはFASTECHでは通称「ネコミミ」と呼ばれていた空気抵抗増加装置を小型分散化した「空力抵抗板ユニット」であり、もうひとつはリニア技術を応用した「リニア式減速度増加装置」です(図13)。

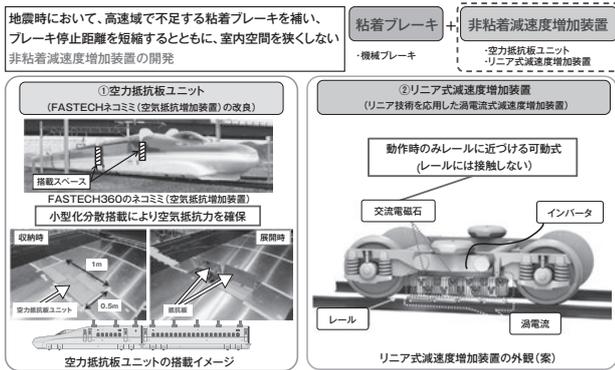


図13 停止距離の短縮

(3) 当社の新幹線車両運用の特徴の一つに新幹線区間と在来線区間を直通する新在直通運用があります。その運用に供する新在直通用車両は、新幹線区間の高速走行安定性と在来線区間の小曲線通過性能を両立する必要があります。新幹線区間の最高走行速度が向上するほど両者の性能の両立が困難となってきますが、軸箱前後支持剛性やヨーダンパ減衰などの台車諸元の最適化をとおして課題解決を試みています(図14)。

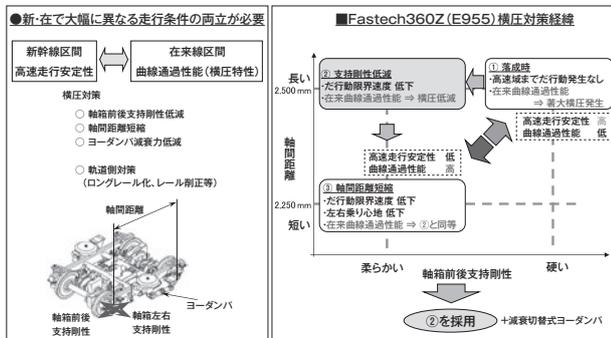


図14 新在直通車両の性能検討

4. おわりに

2016年11月にJR東日本は「技術革新中長期ビジョン」を発表しました。このビジョンのコンセプトは「IoTやビッグデータ、AI等により『モビリティ革命』の実現をめざす。」です。我々が取り組んでいる次世代新幹線の実現は、このモビリティ革命の一翼を担うものです。

技術的進歩が著しいIoT、AI技術を活用して新幹線車両のインテリジェント化を実現し、安全・安心・快適にお客さまにご利用いただける新幹線を作り上げたいと考えています。車両のインテリジェント化とはどのようなものか？如何に実現するのか？等試行錯誤しながら技術開発をとおして具体化していきたいと思ひます。